



## USO DO REJEITO ORIUNDO DA EXTRAÇÃO DE AREIA NA SÍNTESE DE GEOPOLÍMEROS

GOMES, I.L.F.M.<sup>1</sup>, SANTOS, B.L.D.<sup>1</sup>, LAMEIRAS, F.S.<sup>2</sup>, FREIRE, C.B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário de Belo Horizonte, Engenharia Química.

e-mail: isabella.lobo.fmg@gmail.com.

e-mail:bruno.lourenciods@gmail.com.

<sup>2</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN).

e-mail: fsl@cdtn.br.

e-mail: cbf@cdtn.br.

### RESUMO

A degradação ambiental é um assunto que preocupa a população mundial. Portanto, há incentivos para buscar materiais alternativos, que além de possibilitar a reutilização de substâncias dispersas no ambiente, podem substituir os materiais poluentes já em uso. Por volta de 1972, Davidovits descobriu o geopolímero, um material polimérico inorgânico similar as zeólitas, composto de alumina e sílica que se reestruturam por ativação alcalina. Com a inovação dos geopolímeros, busca-se a incorporação de rejeitos da mineração em sua síntese. Portanto, o presente trabalho possui como objetivo estudar a influência de três fatores na calcinação da caulinita em metacaulinita para a resposta “resistência à compressão” dos geopolímeros obtidos. A caulinita utilizada neste trabalho foi fornecida pela GH Areias Comércio e Extração de Minerais, que tem a areia como seu principal produto de extração e a caulinita considerada o rejeito do processo. Os fatores estudados foram: tempo de calcinação, taxa de aquecimento e composição em percentual mássico. Por meio da Análise da Variância, foi possível verificar que o geopolímero com maior percentual de metacaulinita, 8h de tempo de calcinação na taxa de aquecimento de 10°C/min apresentou maiores valores de resistência à compressão, com a média de 53,187 MPa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geopolímero, calcinação, mineração, caulinita.

### ABSTRACT

Environmental degradation is a matter that worrying the world's population. Therefore, there are incentive to search for alternative materials, which in addition to enabling the reuse of dispersed substances in the environment, can replace the polluting materials already in use. Around 1972, Davidovits discovered the Geopolymer, an of inorganic polymeric material similar to zeolites, composed of alumina and silica that restructure by alkaline activation. With the innovation of the Geopolymers, it is sought the incorporation of tailings of the mining in its synthesis. For that reason, the present work aims to study the influence of three factors on the calcination of kaolinite in metakaolin for the response "compressive strength" of the obtained Geopolymer. The kaolin used in this study was provided by GH Areias Comércio e Extração de Minerais, which has sand as its main extraction product and the clay, the waste of the process. The factors studied were: calcination time, heating rate and composition in the mass percentage. Through the Variance Analysis, it was possible to verify that the geopolymer with the highest percentage of metakaolin, 8h of calcination time and heating rate of 10 °C/min presented higher values of compressive strength an average of 53,187 MPa.

**KEYWORDS:** Geopolymer, calcination, mining, kaolinite.

## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo com o desenvolvimento social e tecnológico, ainda há um crescimento significativo em relação a extração natural. Um exemplo ocorre no setor da mineração, atingido principalmente a extração do minério de ferro. De acordo com Mesquita, Carvalho e Ogando (2014), o Brasil é o segundo país com maior reserva mundial de minério de ferro, onde sua extração se concentra no Quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais. Devido ao volume de produção elevada do ferro, é gerada uma alta quantidade de coprodutos, (materiais que para aquela produção não possuem valor comercial, sendo considerado rejeito, entretanto para outro processo, atua como matéria-prima) compostos por material granular (arenoso) e argiloso (lama). A não utilização de ambos somada com a deposição no ambiente, como por exemplo a utilização de barragens de rejeito, devido ao menor custo de produção industrial, gera grandes risco para a flora, fauna e a população que reside próximo a estes locais. Os mais recentes desastres ambientais relacionados ao tema foram os rompimentos das barragens de Fundão em Mariana/MG e do Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG, onde tanto a população quanto o ambiente, sofreram perdas irreparáveis (Young, 2017; Vale, 2017).

De acordo com Guimarães et, al. (2018) e Gonçalves (2007), pesquisadores buscam alternativas para utilização dos rejeitos, da mineração por exemplo, na produção de materiais, principalmente no setor da construção civil, como telhas, cerâmicas, concreto, blocos estruturais, dentre outros. Um material com grande potencial é o geopolímero, que de acordo com Barroso (2009), foi desenvolvido por Davidovits por volta dos anos de 1972. Os geopolímeros possuem estruturas poliméricas de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$ , desenvolvidas a partir da reação de materiais ricos em aluminossilicatos, podendo variar entre metacaulinita, cinzas volantes, escórias de alto forno e até mesmo lamas residuais, e soluções alcalinas que reestruturam os polisilicatos presentes (Vaz, 2011). Zeólitas são substâncias compostas de aluminossilicatos hidratados, caracterizadas pela presença de cadeias lineares com rede cristalina tetraédrica de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$  tridimensionais. Ambos os materiais são formados por estruturas tetraédricas que compartilham o oxigênio presente em sua composição (Soares, 2010).

Devido à estrutura concisa dos geopolímeros e os componentes utilizados em sua confecção, este adquire a capacidade de endurecimento em temperaturas ambientes, processo conhecido como policondensação. A partir disto existem estudos baseados no tempo de cura dos geopolímeros, variando entre 1, 7 ou 28 dias, em testes à resistência às altas temperaturas de calcinação e a resistência à pressões (Costa, 2012; Livi, 2013; Resente et al, 2008; Torres, 2013). Durante a calcinação, ocorre a transformação do caulim em metacaulim, através da perda de água. Entretanto, se ocorrer perda consideravelmente rápida ou a quantidade de água estiver baixa, esta pode-se dissipar e não formar da estrutura completa do geopolímero e então gerar seu enfraquecimento. A água, além de disponibilizar o oxigênio para criação das cadeias poliméricas, auxilia na velocidade da polimerização, já que aumenta a possibilidade de ativação por causar a dissolução dos materiais. Por outro lado, quando sua quantidade apresenta excesso há a formação de cristais grandes na estrutura que também causam fragilidade no material, diminuindo sua resistência. Com isto, a quantidade de água deve ser proporcional aos outros materiais utilizados (Cesari, 2015; Mazza, 2010).

Comparado à produção de cerâmica regular do setor de construção civil, a produção do geopolímero diminui a emissão de gases na atmosfera, como o  $\text{CO}_2$ . Somado a isto, índices de exploração mineral continuam crescendo por estarem exaurindo grandes fontes de matéria-prima, gerando preocupações ambientais, como o acúmulo de rejeitos nas barragens, além do não reaproveitamento dos materiais ali depositados. O presente artigo propõe um

estudo para analisar a interferências e/ou relevância de fatores como o tempo de calcinação da caulinita, a taxa de aquecimento durante este processo e a composição em percentagem mássica de material durante a síntese desses geopolímeros. A caulinita utilizada foi fornecida pela empresa GH Comércio e Extração de Minerais Ltda, que tem a areia como seu principal produto de extração. A argila caulinita é extraída juntamente com a areia durante seu processo de extração e fica armazenada em pilhas no local da exploração. A caulinita é considerada rejeitos devido sua dificuldade de comercialização. Portanto, seu uso na síntese de geopolímero tem o intuito de aumentar seu valor agregado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro processo realizado foi a moagem da caulinita, utilizando moinhos de mandíbulas e de bolas. Em seguida, a mesma foi submetida a um peneiramento, atingindo a granulometria ideal para o processo, abaixo de 16 #. Após isto, a argila foi calcinada em Mufla NA – 2312, ou seja, processo de aquecimento para que compósitos presentes no material se reorganizem. Durante o processo de calcinação, a caulinita se reorganiza e se torna metacaulinita, com isto, ocorre mudança de coloração, uma vez que a caulinita utilizada é cinza e após aquecimento se encontra rosada. Em todos os processos de calcinação, a temperatura atingida foi de até 800 °C, com variações no tempo e na taxa de aquecimento.

As amostras foram identificadas de acordo com o código, GH1-04-10-1, onde GH1 representa a origem do material, ou seja, seu fornecimento, que neste estudo não se alterou. O segundo termo da identificação representa a duração da permanência no forno ou tempo de calcinação, que pode ser observado na Tabela 1, variando entre 8 horas, 4 horas, 2,8 horas e 1 hora. O terceiro termo representa a taxa de aquecimento (TA) durante as horas pré-determinadas, variando entre 10 °C/min e 1°C/min. E o quarto termo representa a variação de composição (C) em percentagem mássica de cada componente utilizado para a síntese dos geopolímeros, denominadas matrizes 1 e 5, ou seja, a quantidade de caulinita calcinada, silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) e solução de 10 M de hidróxido de sódio (NaOH). Foram realizadas análises de seis variações de composições diferentes em função da composição estequiométrica. Entretanto, serão abordadas as duas melhores composições, por apresentarem baixa eflorescência e alta resistência a compressão, representadas na Tabela 2.

Tabela 1: Identificação das amostras de acordo com o TC e a TA em cada condição

TA (°C/min)	T (h)			
	1	2,8	4	8
1	GH1-1-1-1	GH1-2,8-1-1	GH1-04-1-1	GH1-08-1-1
	GH1-1-1-5	GH1-2,8-1-5	GH1-04-1-5	GH1-08-1-5
10	GH1-1-10-1	GH1-2,8-10-1	GH1-04-10-1	GH1-08-10-1
	GH1-1-10-5	GH1-2,8-10-5	GH1-04-10-5	GH1-08-10-5

Fonte: Autores, 2019.

**Tabela 2: Representação das porcentagens mássicas das composições utilizadas de acordo cada matriz utilizada**

Matriz	Metacaulinita (%)	Silicato de sódio (%)	Solução de NaOH (%)
C1	55	25	20
C5	50	35	15

Fonte: Autores, 2019.

Os componentes foram misturados cuidadosamente, de acordo com cada C, até formação de uma pasta homogênea. Em seguida, para o processo de moldagem, a pasta foi depositada em moldes de 5x5 cm. O ensaio de resistência à compressão (RC) foi feito segundo a norma NBR 5937 que determina o método de ensaio a resistência a compressão de corpos de prova moldados, seguindo a relação de altura sobre diâmetro (h/d), que não pode ultrapassar o valor de 2,00 (ABNT, 2018). Com isto, foi necessária a utilização do fator de correção nos resultados do ensaio, demonstrado na Tabela 3.

**Tabela 3: Fator de correção de acordo com a norma NBR 5937**

Relação h/d	Fator de Correção
2	1
1,75	0,98
1,5	0,96
1,25	0,93
1	0,87

Fonte: Autores, 2019.

Para minimizar a presença das bolhas na estrutura durante o processo de secagem, os corpos de prova foram submetidos a agitação utilizando o shaker orbital marca IKA - KS 130 Control S1 a 350 RPM, com duração de 10 minutos. Os mesmos foram submetidos a processo de cura por 28 dias. Após o período determinado, estes foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão utilizando a Prensa EMIC 22762.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 1.1 Teste de resistência a compressão

A determinação da resistência à compressão dos geopolímeros foi feita conforme a norma NBR 7215, que especifica a resistência a compressão dos corpos de prova (ABNT, 1996). Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados obtidos para C1 e C5 respectivamente.

**Tabela 4: Resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão dos geopolímeros sintetizados na matriz 1.**

Amostras	Resistência à compressão (MPa)				
GH1-08-10-1	50,596	50,995	67,082	46,944	50,319
GH1-08-1-1	38,090	44,086	26,925	43,286	31,813
GH1-04-10-1	47,648	49,337	43,327	40,719	43,813
GH1-04-1-1	30,870	37,268	34,119	24,667	4,975
GH1-2,8-10-1	24,645	27,969	15,534	2,001	17,269
GH1-2,8-1-1	22,859	30,851	18,044	21,535	20,126
GH1-1-10-1	22,829	13,874	20,855	27,830	39,683
GH1-1-1-1	31,215	43,981	43,522	22,019	13,239

Fonte: Autores, 2019.

**Tabela 5: Resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão dos geopolímeros sintetizados na matriz 5.**

Amostras	Resistência à compressão (MPa)				
GH1-08-10-5	39,916	41,460	43,245	43,856	48,808
GH1-08-1-5	29,249	31,112	29,898	24,187	30,948
GH1-04-10-5	26,817	27,955	25,942	26,600	29,461
GH1-04-1-5	36,519	31,993	33,513	45,155	33,559
GH1-2,8-10-5	21,487	31,416	16,752	16,221	33,460
GH1-2,8-1-5	21,263	21,455	22,219	18,455	22,472
GH1-1-10-5	15,000	15,134	17,711	13,356	16,774
GH1-1-1-5	14,003	10,320	20,337	23,896	12,317

Fonte: Autores, 2019.

Para interpretação dos resultados, foi feita a Análise da Variância ANOVA, com 95% de intervalo de confiança, que permite verificar qual matriz teve melhor desempenho e em quais condições. Além disso, foi possível verificar a influência dos fatores TA e TC na resposta “resistência à compressão” em ambas composições ou matrizes estudadas. Os resultados ANOVA estão apresentados nas tabelas 6 e 7, ambos feitos com o auxílio do software *Minitab 16*. Para melhor interpretação dos resultados por meio da ANOVA, os quatro tempos de calcinação foram comparados em pares, separadamente. Assim, dois planejamentos de experimentos 2<sup>3</sup> foram obtidos e analisados.

**Tabela 6: Resultados da ANOVA para os TC de 4 e 8 horas.**

Termos	Efeito	Coefficiente	SE <sub>coeficiente</sub>	p-valor
Constante		37,287		0,000
TC	7,149	3,575		0,002
TA	10,352	5,176		0,000
C	-6,113	-3,056		0,007
TC*TA	5,454	2,727	1,064	0,015
TC*C	-2,190	-1,095		0,311
TA*C	-7,116	-3,558		0,002
TC*TA*C	6,574	3,287		0,004

Fonte: Autores, 2019.

Por meios dos resultados da ANOVA, foi possível verificar que todos os fatores, foram significativos para a RC (MPa), com exceção da interação entre o TC e a C. Com relação à TC, as RC à 8 h são em média 7,149 MPa maiores do que à 4h; para a TA, as RC na maior taxa, 10 °C/min, são em média 10,352 MPa maiores do que na taxa mais baixa e para as composição, a matriz 1 é 6,113 MPa em média maiores que a matriz 5. Comparando os TC com as TA à 10 °C/min, as RC à 8h são em média 16,297MPa maiores que à 4h. Já na TA à 1°C/min, as RC à 8h também são maiores que à 4h, em média 4,898 MPa. Já comparando TA e C, a matriz 1 na TA de 10 °C/min apresentou médias de RC 14,173 MPa maiores que na matriz 5 e na TA de 1°C/min a RC na matriz 5 foi praticamente a mesma que na matriz 1, com 1,002 MPa em média maior. Portanto, nota-se grande complexidade das reações geopolimérica quando diferentes condições de calcinação são avaliadas. Em geral, a matriz 1, com maior percentual de metacaulinta, na taxa de 10°C/min e à 8 horas de calcinação apresentaram valores de RC maiores, em média, de 53,187 MPa.

**Tabela 7: Resultados da ANOVA para os TC de 1 e 2,8 horas.**

Termos	Efeito	Coefficiente	SE <sub>coeficiente</sub>	p-valor
Constante		21,598		0,000
TC	-0,593	-0,296		0,814
TA	-0,296	-1,108		0,383
C	-4,791	-2,396	1,252	0,065
TC*TA	0,964	0,482		0,703
TC*C	7,229	3,614		0,007
TA*C	3,274	1,637		0,200
TC*TA*C	0,674	0,337		0,790

Fonte: Autores, 2019.

Já para as RC com TC de 1 e 2,8 horas, nenhum dos fatores foram significativos, com exceção da interação entre TC e C ou composições das matrizes. Isso significa que para cada matriz houve uma determinada TC em que a RC foi maior e que essa diferença foi positiva, ou seja, na TC de 2,8h, a composição da matriz 5 apresentou RC em média 2,438 vezes maior que a da matriz 1 e, em contrapartida, para a TC de 1h, a composição da matriz 1 teve RC, em média, 12,02 vezes maior do que a RC da matriz 5.

## 1.2 ANÁLISE DE MEV

De acordo com Silva (2002), a determinação da estruturação dos geopolímeros formados, é realizada utilizando o Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV). Diante dos feixes de elétrons que bombardeiam o material, é possível determinar a estrutura da superfície das amostras. Nas imagens obtidas pelo MEV na Figura 1, em ambas as amostras, foi possível observar o baixo índice de cristalização nas imagens, comprovando a característica amorfa do geopolímero, ou seja baixa presença de água no material já curado, principalmente na amostra I, demonstrando a boa qualidade da mesma. Entretanto, é possível observar a presença de bolhas nas superfícies das amostras. De acordo com Hartmann (2016), bolhas/poros são um dos quesitos responsáveis pela baixa resistência das argamassas atuais, atingindo até mesmo os geopolímeros. Estes são formados pela presença de partículas sólidas ainda presentes na pasta formada que quando misturados não se aderem a mistura e com isso são submetidos a processo de lixiviação e assim gerando poros nas amostras (Severo et al, 2013).

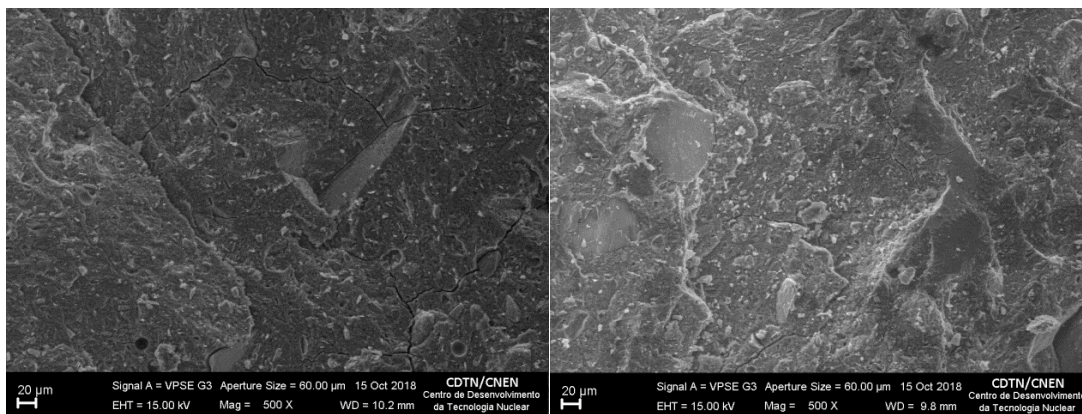


Figura 1: Imagens obtidas através do MEV, amostra I - GH-08-10-1, amostra II - GH-04-10-1.

Fonte: Centro de Desenvolvimento de Pesquisa Nuclear (CDTN), 2018.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da pesquisa realizada, foi possível observar que todos os fatores estudados foram significativas na análise dos resultados de resistência à compressão, ou seja, todos interferem nas condições de transformação da caulinita em metacaulinita e na composição dos geopolímeros sintetizados nos tempos de calcinação de 4h e 8h. Já em menores tempos de calcinação, houve diminuição das resistências à compressão e os fatores não foram significativos, a não ser na interação entre os dois fatores tempo de calcinação e composição. Nestas condições, a composição da matriz 1 teve resistência à compressão em média de 12,02MPa maior que a da matriz 5, na temperatura de calcinação de 1h. A condição proposta na amostra GH1-08-10-1, ou seja, composição da matriz 1, à 8h de calcinação na taxa de aquecimento de 10°C/min, apresentou melhor resistência, no valor médio de 53,187 MPa. Por meio do MEV, essa composição apresentou baixa presença de poros e estrutura amorfa. A partir da pesquisa realizada, foi possível observar que há uma forte influência das condições de calcinação da caulinita na síntese de diferentes composições de geopolímero para a resposta “resistência à compressão” avaliada, e que estes fatores devem ser considerados e avaliados quando diferentes matérias primas forem utilizadas para a síntese de geopolímeros.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem ao CDTN e à GH Comércio e Extração de Minerais Ltda, pela possibilidade de confecção do trabalho desenvolvido e pelo conhecimento adquirido.

#### 6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. [S. l.], 1996. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR%207215%20-.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2019.

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739 - 2018 — Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/393768312/NBR-5739-2018-Concreto-Ensaio-de-compressao-de-corpos-de-prova-cilindricos>. Acesso em: 12 fev. 2019.
- Associação Brasileira de Tratamento de Minérios, organizador. Proceedingsdo XL Encontro Nacional de Tratamento de Minérios; 2029 Oct 27– 30; Natal, Brasil. (ENTMME; vol. 149, edição especial). p. 57–60.
- Barroso M.D. B. Desenvolvimento de compósitos com matriz de geopolímeros reforçados com partículas de quasicristais AlCuFe. 2009. [Tese de Doutorado] - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - Paraíba, 2009.
- Cesari V. F. Influência do Uso de Aditivos Dispersantes em Pastas de Geopolímero Produzido Com Cinza Volante e Hidróxido de Sódio. 2015. [Dissertação de Mestrado] - Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2015.
- Costa A. F. M. Utilização de Geopolímeros para Protecção de Betão: Resistência a Altas Temperaturas. 2012. [Dissertação de Mestrado] - Universidade de Minho Escola de Engenharia, [S. l.], 2012.
- Costa B. L. C. Quantificação da emissão de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil. 2012. [Dissertação de Mestrado] - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, 2012.
- Gonçalves, J. P. Utilização do resíduo da indústria cerâmica para produção de concreto. *Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Ouro Preto*, n. 60, p. 639-643, 3 dez. 2007.
- Guimarães, A.C.P.D et al. Obtenção de Geopolímero Com Adição de Rejeito de Mineração Depositado na Barragem de Candonga (Rio Doce-Mg, Brasil).2018. 3º Congresso Luso-Brasileiro. *Materiais de Construção Sustentáveis, Coimbra*, 14-16 fev.2018.
- Hartmann E.A Argamassa Geopolímerica Utilizando Pó de Alumínio Como Agente Formador de Poros. 2016. [Trabalho de Conclusão de Curso] – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- Livi C. N. Desenvolvimento de Pasta de Geopolímeros a Base de Cinza Volante e Hidróxido de sódio. 2013. [Dissertação Mestrado] - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- Mazza S. C. Estudo das Propriedades Mecânicas e da Aderência do Sistema Argamassa de Reparo com Cimento Geopolímero/Substrato de Concreto com Cimento Portland. 2010. [Dissertação de Mestrado] - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- Mesquita, P. P. D.; CARVALHO, P. S. L. ; OGANDO, L. D. Desenvolvimento e inovação em mineração e metais. In: BNDS. *Mineração e Metais: BNDES Setorial*. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9577/2/BS%2043%20Desenvolvimento%20e%20inova%C3%A7%C3%A3o%20em%20minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20metais.%20\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9577/2/BS%2043%20Desenvolvimento%20e%20inova%C3%A7%C3%A3o%20em%20minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20metais.%20_P_BD.pdf). Acesso em: 30 jan. 2019.
- Resente, N. G. A. M. ; MONTE, M. B. M.; PAIVA, P. R. P. Zeolitas Naturais. In: CETEM. *Rochas e Minerais Industriais*. [S. l.]: CETEM, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1143/1/39.%20ZE%C3%93LITAS%20NATURAIS%20REVISADO.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2018.
- Severo C.G.S et al. Características, particularidades e princípios científicos dos materiais ativados alcalinamente. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos [Internet]* 2013; Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/334/276>
- Silva M. M. P. Efeito de surfactantes aniônicos e catiônicos no comportamento eletroquímico de interfaces metal / soluções aquosas de cloreto de sódio. 2002. [Tese de Doutorado] - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- Soares, F. S. C. Caracterização e Aplicação de Zeólitas Naturais. 2010. [Tese de Doutorado] – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2010.
- Torres, M. Polimerização. [S. l.], 2013. Disponível em: <http://vitruvedepolimero.blogspot.com/search/label/policondensa%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 1 fev. 2019.
- VALE. Tecnologia de Barragens e Disposição de Rejeitos. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.itv.org/linha-de-pesquisa/tecnologia-de-barragens-e-disposicao-de-rejeitos/>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- Vaz L. F. C. Estudo do efeito de adjuvantes em geopolímeros obtidos de resíduos de minas. 2011. [Dissertação de Mestrado] - Universidade da beira Interior, Covilhã, 2011.
- Young, C. E. F.; FILHO, F. H. B. Comércio Internacional, Política Econômica e Poluição no Brasil. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/gema/pdfs/COM%C9RCIO%20INTERNACIONAL,%20POL%C3%93TICA%20ECON%D4MICA%20E%20POLUI%C7%30%20NO%20BRASIL.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.